

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**В.И. Семенова**

Научный руководитель - профессор О.В. Казьмина

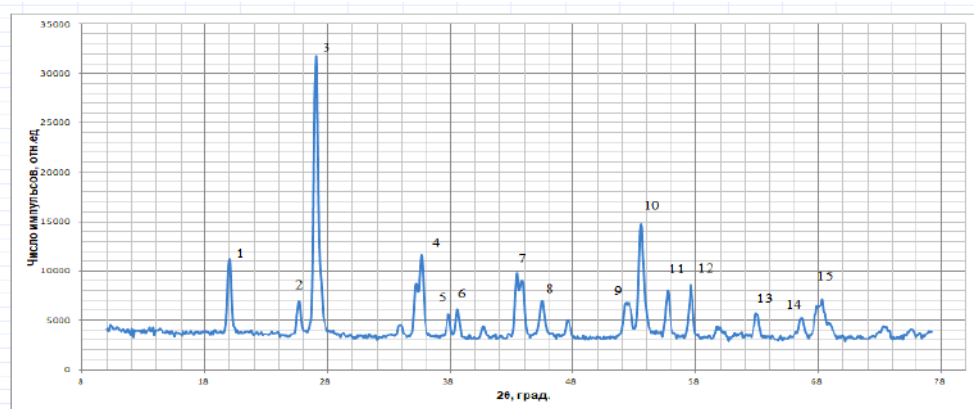
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Полупроводниковая промышленность относится к интенсивно развивающимся отраслям в мире и признается ключевой для экономического роста. Согласно данным WSTS объем рынка в 2018 году оценивается более US \$ 400 billion [1]. Технологический процесс производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем обычно включает следующие операции: механическая обработка полупроводниковых пластин; химическая обработка; эпитаксиальное наращивание слоя полупроводника; получение маскирующего покрытия. В процессе изготовления приборов и устройств для радиоэлектроники используется более 200 органических и неорганических соединений, в результате чего на предприятиях данной отрасли образуются различные отходы, некоторые из которых содержат токсичные элементы, такие как мышьяк, сурьма, теллур, а также кислоты и щелочи и др. [2, 3]. Выбросы данных элементов и их соединений необходимо снижать до уровня предельно допустимых концентраций. К одному из опасных видов отходов относятся отходы, содержащие арсенид галлия (GaAs), широко используемый в электронных устройствах. Утилизация данного вида отходов вызывает беспокойство в отношении здоровья населения и экологических рисков, связанных с потенциальным выбросом токсичных видов мышьяка.

Цель исследования – установить возможность использования отходов, образующихся при механической обработке пластинок арсенида галлия, в качестве компонента композиции для получения пористого материала, обладающего экологической безопасностью.

Ранее было установлено, что введение в состав пористого материала арсенида галлия, в силу особенностей его кристаллической структуры и электронного строения, повышает коэффициент поглощения электромагнитного излучения в диапазоне частот от 120-260 ГГц готового материала [4]. Это указывает на одну из возможных областей применения пористого материала, содержащего арсенид галлия.

При разработке технологических приемов переработки данного вида отходов учитывалось, что арсенид галлия не взаимодействует с водой, но активно разлагается под действием кислот с выделением токсичного арсина. При нагреве на воздухе до 300 °С арсенид галлия не окисляется, а начиная с 600 °С, GaAs разлагается с выделением мышьяка. По данным рентгенофазового анализа установлено, что исследуемый отход содержит в своем составе не только арсенид галлия, но и карбид кремния (рис. 1).



**Рис. 1 Дифракционная рентгенограмма GaAs-содержащего отхода  
1,2,4,5,6,9,11,12,13 –карбид кремния; 3,8,10,15 – арсенид галлия; 7 –галлий**

Фазовый состав отхода исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3М в медном излучении, с использованием программы Crystallographica. Установлено присутствие на рентгенограмме рефлексов отражения таких кристаллических фаз как карбид кремния и арсенид галлия (рис. 1). Рефлексы, отвечающие арсениду галлия, являются более выраженными (№ 3, 8, 10, 15) и согласуются с основными установленными максимумами отражения ( $d = 0,3263; 0,1998; 0,1708$  нм). Менее интенсивные рефлексы (№ 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13) соответствуют карбиду кремния ( $d = 2,5162; 2,5208; 2,6276$  нм).

Для перевода материала, содержащего мышьяк в безопасное состояние, исходный отход предварительно гранулировали с использованием в качестве связующего раствор жидкого стекла с силикатным модулем 2,5. Предпосылкой успешного гранулирования служит тонкодисперсность порошка образующегося отхода, что отражено на рисунке 2. Средний размер частиц не превышает 10 мкм.

Гранулирование осуществляли в лабораторном турбо-лопастном смесителе. Вначале в смеситель подается высушенный при комнатной температуре порошкообразный отход, затем постепенно подается раствор жидкого стекла. Подача раствора прекращается, когда появляются первые признаки переувлажнения шихты – блеск гранул,

налипание мелких гранул (1 – 3 мм). Процесс гранулирования длится  $5 \pm 2$  мин., с отбором гранул для последующих испытаний на влажность, химическую и биологическую стойкость.

Установлено, что GaAs-содержащие отходы хорошо гранулируются со 100 % выходом гранул. Средний размер гранул составил 1,7 мм (таблица 1). Прочность свежеприготовленных гранул достаточна для обеспечения их транспортирования без разрушения, что подтверждается сохранением формы гранул при их сбрасывании с высоты 300 – 500 мм.

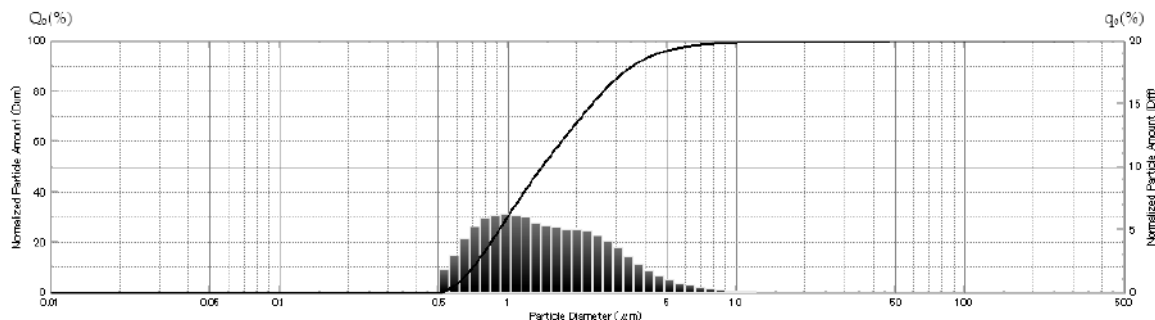


Рис. 2 Гранулометрический состав отходов

Таблица 1

Характеристика гранулированных GaAs-содержащих отходов

№	Диаметр, мм	Влажность, мас. %	Насыпная плотность, кг / м <sup>3</sup>	Процент разрушения сырых гранул при сбрасывании с 30 – 50 см	Прочность высушенных гранул, при сдавливании в цилиндре, МПа
1	1,33	10,6	730 – 760	0	20,1 – 20,7
2	1,68	13,7		0	
3	1,70	14,7		0	
4	2,02	14,3		0	
Среднее значение	1,7	13,3	754	0	20,4

На следующем этапе изготовленные гранулы остекловывали путем термообработки композиции гранул с жидким стеклом и добавками. Для получения пористого материала использовали технологию «холодного вспенивания», с постепенным нагревом композиции до 250 °С. Получен пористый материал, обладающий характеристиками, приведенными в таблице 2. По плотности материал относится к плотным теплоизоляторам, с водопоглощением на уровне керамзита и прочностью на сжатие на уровне пеностекла.

Дополнительно проведена оценка безопасности полученного материала методом биотестирования. Согласно СП 2.1.7.1386-03 критерием токсичности материала является гибель 50 % и более биообъектов в водной вытяжке исследуемого образца. По данным биотестирования материал относится к 4 классу опасности, что говорит о переводе отходов в безопасное состояние.

Таблица 2

Физико-механические характеристики пористых образцов

Средний размер пор, мм	Коэффициент вспенивания, %	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, кг / м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа
0,5 – 1,0	11	18	550	1,3

Анализ полученных результатов показал, что отходы, образующиеся на полупроводниковом производстве, содержащие в своем составе арсенид галлия и карбид кремния, можно использовать в качестве компонента композиции для получения пористого материала при температурах, не превышающих 250 °С. Потенциальной областью применения данного материала рассматривается сфера радиопоглотителей, например, в качестве облицовочного материала для безэховых камер и для обеспечения электромагнитной совместимости различной аппаратуры, что является актуальной практической задачей.

#### Литература

1. World Semiconductor Trade Statistics. More Than 25 Years Authentic Market Monitoring by WSTS. Available online: <https://www.wsts.org/> (accessed on 03.01 2019)
2. Shen, C.-W., Tran, P.P., Ly, P.T.M. Chemical waste management in the U.S. semi-conductor industry // Sustainability (Switzerland). – 2018. – 10(5). – P. 1545.
3. Int. J. Environ. Comprehensive Evaluation of Hazardous Chemical Exposure Control System at a Semiconductor Manufacturing Company in South Korea // Res. Public Health. – 2018. – 15(6). – P. 1162.
4. Стебенева В.И., Дорожкин К.В., Казьмина О.В. Радиопоглощающие свойства пеностекла с добавлением арсенида галлия // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2018. – Т.2. – С. 309 – 311.